



UNIVERSIDAD DE ALMERIA

PROYECTO FIN DE CARRERA

TRABAJO MONOGRÁFICO

**Evaluación de fertirrigación en plantas en contenedor de *Philodendron*
erubescens cultivados en fibra de coco.**

TITULACIÓN: INGENIERIA TÉCNICA AGRÍCOLA

ESPECIALIDAD EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS

**FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES Y ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR**

ENERO 2014

Director

Miguel Urrestarazu Gavilán

Alumno

Francisco Javier Úbeda Porras

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

	pagina
1. INTERES Y OBJETIVOS	8
1.1 Interés	9
1.2 Objetivos	9
2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	10
2.1 La horticultura ornamental	11
2.1.1. Consideraciones previas	11
2.1.2. Revisión histórica	12
2.1.3. La horticultura en la actualidad	13
2.2. Los helechos	16
2.3. Sistemas de cultivo sin suelo	18
2.4. Los sustratos en cultivo sin suelo	20
2.4.1. Consideraciones previas	20
2.4.2. Tipos de sustrato	21
2.5. Salinidad	22
2.6. Tolerancia de las planas a la salinidad	24
2.7. nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo	27

3. MATERIAL Y MÉTODOS	31
3.1. Descripción del sistema de invernadero	32
3.2. Descripción de la unidad de cultivo	33
3.2.1. Contenedores de cultivo	33
3.2.2. Distribución del ensayo	34
3.2.3. Sustrato	35
3.3. Fertirriego	40
3.3.1. Riego	40
3.3.2 Sistema de fertirriego	41
3.4. Características del agua de riego utilizada y disolución nutritiva	42
3.4.1. Agua de riego	42
3.4.2. Disolución nutritiva	43
3.4.3. Tratamientos del ensayo	44
3.5. Especies estudiadas	44
3.6. Manejo del cultivo	45
3.7. Seguimiento del cultivo	46
3.8. Fertirriego	48
3.9. Diseño experimental y análisis estadístico	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Volumen aportado en el fertirriego	51

4.2. Parámetros de fertirriego de la solución nutritiva drenada y aportada	51
4.3. conductividad eléctrica del drenaje y del fertirriego	52
4.4. Porcentaje de drenaje	54
4.5. parámetros vegetativos de la raíz	54
4.6. parámetros vegetativos aéreos	56
5. CONCLUSIONES	59
6. BIBLIOGRAFIA	61

INTERÉS Y OBJETIVOS

1. INTERES Y OBJETIVOS

1.1 Interés

De la enorme diversidad de plantas que nos ofrece la naturaleza, existen una gran cantidad de ellas que se usan para el embellecimiento en el arte de la jardinería que cada día está más representado a nuestro alrededor nuestras ciudades, nuestro lugar de trabajo e incluso en nuestros edificios.

La jardinería está en continua expansión y evolución provocando un alto impacto económico en la industria que cada día se desarrolla más a su alrededor.

De este modo el arte de la jardinería ha sufrido una especial evolución desde los iniciales jardines públicos en las ciudades, privados en gran cantidad de casos, pasando por las terrazas ajardinadas o los jardines de cubierta; cualquier modalidad es válida. En la actualidad el siguiente paso en la evolución de la jardinería está siendo el diseño en jardines verticales.

1.2 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo monográfico es determinar la resistencia de las plantas ornamentales en un cultivo de hidroponía a distintos caudales, para un posterior uso en jardinería.

Los objetivos específicos son:

- ✓ Evaluar el efecto en el crecimiento (altura d la planta).
- ✓ Evaluar el poder vegetativo y la producción de biomas (peso en seo de la raíz y la fronde).
- ✓ Evaluar el caudal adecuado para el cultivo y la viabilidad de los mismos.

Con el fin de obtener los objetivos marcados vamos a evaluar un tratamiento con cuatro repeticiones usando una solución nutritiva estándar misma para las repeticiones y variando el caudal.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. La Horticultura Ornamental

2.1.1. Consideraciones previas

La horticultura proviene etimológicamente de las palabras latinas hortus (huerta, jardín, planta) y cultura (cultivo), clásicamente significaba “cultivo en huertas”; el término se aplica también a la producción de hortalizas e incluso a la producción comercial moderna.

Sin embargo, horticultura es mucho más. Los horticultores trabajan en la propagación de las plantas, mejora de las cosechas, abonos a las plantaciones e ingeniería genética, bioquímica y fisiología de las plantas y el almacenado, procesado y transporte.

Áreas de estudio

La horticultura comprende cinco áreas de estudio (ISHS, Sociedad Internacional para Ciencias Hortícolas:

- **Floricultura;** incluye producción y mercado de plantas y flores cortadas con fines ornamentales.
- **Oleicultura;** incluye producción y mercado de las hortalizas, sean de hoja, raíz, tubérculo o fruto
- **Fruticultura;** incluye producción y mercado de las frutas
- **Aromáticas, medicinales y perfumíferas.**
- **Fisiología post cosecha;** comprende el mantenimiento de la calidad y prevención de la degradación y pérdida de las cosechas.

2.1.2 Revisión Histórica

Las primeras evidencias de jardines ornamentales se encuentran en las pinturas de las tumbas de Egipto del año 1500 a. C., en la que se representa estanques principalmente. Persia, también posee su propia tradición en jardinería, como los jardines colgantes de Babilonia que fue la obra más representativa que Nabucodonosor II mandó construir.

En Grecia, en el año 350 d. C existían jardines en la Academia de Atenas, con un concepto religioso, con largas avenidas que intercalaban árboles con estatuas.

Los jardines antiguos más sobresalientes en el mundo fueron los de Ptolomeo, en Alejandría, y esta práctica fue llevada a Roma por Lóculo.

En el siglo IV, Bizancio y los árabes en España mantuvieron viva la práctica de la jardinería. En el Islán el concepto de jardín es la representación terrenal del paraíso que el Corán promete a sus fieles.

Durante este periodo, también en China nace el arte de la jardinería como un lugar de asilamiento y contemplación de los elementos naturales. En Japón se desarrollaron con un estilo propio, creando paisajes minimalistas denominados taukiyama, y paralelamente, como austeros jardines Zen.

En el siglo XIII, la jardinería se revivió en Europa y a comienzos del renacimiento surgieron los jardines estilo italiano, donde en detrimento de las flores se utilizaban especies de arbustos que se esculpían en variadas formas.

En el siglo XVI, la Corona española construyó los primeros espacios públicos, jardines, parques arbolaos, cuyo uso era dedicado al ocio, principalmente.

Paralelamente en el siglo XVI en Francia se desarrollaron los parterres franceses, con espacios abiertos y pronunciadas formas geométricas.

Los jardines ingleses surgieron con una nueva perspectiva en el siglo XVIII donde el romanticismo se plasmó en ellos de forma singular, volviendo a las formas naturales y mezclando zonas boscosas con parterres llenos de flores colinas artificiales, haciendo juegos de luz y sombras que envolvían en un carácter melancólico y fantástico.

El siglo XIX trajo una plétora de verificaciones históricas junto con la romántica jardinería de estilo campestre, la mosaicultura, que consistía en crear dibujos de variados diseños con flores y plantas y el modernismo español, que surge únicamente en Cataluña representado por Antonio Gaudí.

En el siglo XX introdujo la jardinería en la planificación urbanística de las ciudades.

2.1.3. La horticultura en la actualidad

Interés

Puede definirse la horticultura como un conjunto de ciencia, arte y actividad económica (Jiménez y Caballero, 19990). Lo cierto es que es una actividad intensiva y básica dentro de cada nación y economía, caracterizada por los altos requerimientos en recursos humanos, técnicos económicos. Requerimientos que se manifiestan a diario en la actividad como profesión, ocupación, negocio y entretenimiento.

La horticultura, en función del interés y la especialización comprende la producción, aprovechamiento y mejoramiento de: hortalizas (oleicultura), frutas (fruticultura) aromáticas, especias e hierbas, y los productos hortícolas no comestibles (horticultura ornamental o ambiental).

Al referirnos a horticultura ornamental podemos resaltar la importancia del factor estético, que se define como el consumo de flores y plantas.

La horticultura ornamental cubre todos los tipos de plantas, incluyendo frutales y hortalizas, para mostrar y satisfacer propósitos estéticos y confort, antes que para la alimentación, de acuerdo a sus características, usos y paisajismo.

En los últimos 50 años los avances químicos, técnicos y biotécnicos, han propiciado la evolución de la actividad hortícola de huerto a industria, muy especialmente en las ornamentales, en donde su producción y comercialización a nivel mundial, han adquirido niveles de importancia básicos en los ingresos de muchos países.

La industria de la Horticultura Ornamental en España

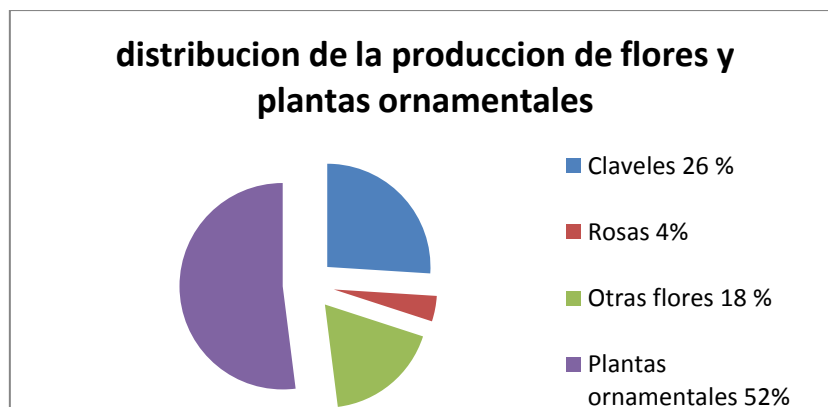
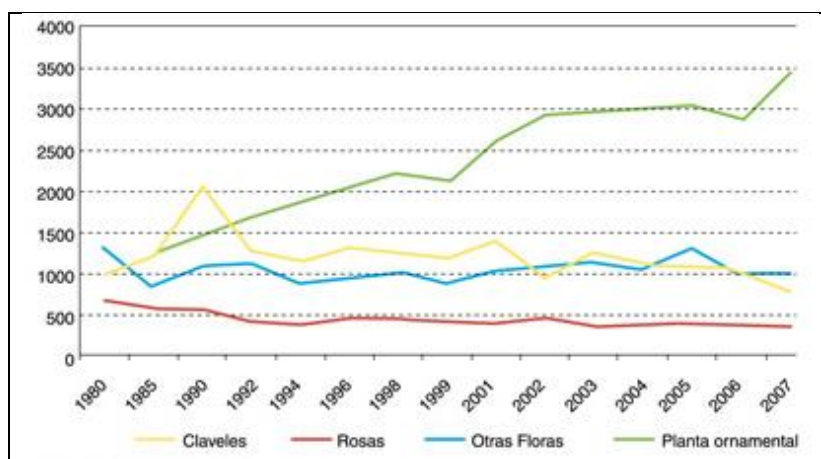
El cultivo de las plantas ornamentales en España se impulsó en la década de los 70. El clima, la gran luminosidad y las suaves temperaturas han provocado un elevado aumento de la superficie cultivada, lo que supone un 4,3% de la producción vegetal en España en la actualidad. Una superficie de unas 3500 has. (FEPEX, enero 2008)

Las comarcas pioneras en esta práctica fueron la Maresme en Cataluña, Chipiona y pueblos de Aljarafe en Andalucía. En la actualidad las Comunidades Autónomas más importantes en esta práctica son Cataluña, Valencia, Andalucía, Canarias, Galicia y Murcia.

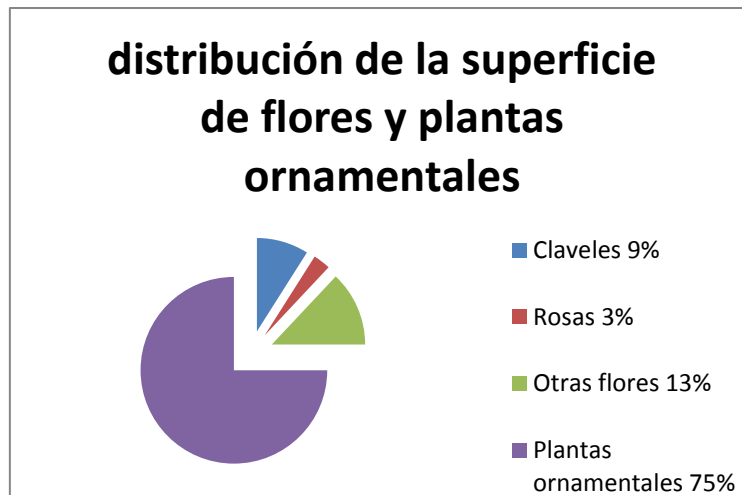
La evolución del cultivo de plantas ornamentales, incluyendo la planta viva vendida en maceta, ha sufrido un crecimiento muy rápido en las últimas décadas, coincidiendo con el gran desarrollo de la jardinería paisajismo. Tradicionalmente el cultivo de planta ornamental ha sido al aire libre para la mayoría de las especies ornamentales, sin embargo el 73,4% del número de explotaciones se producen en invernadero (INE, 2009), de echo la modalidad de invernaderos ha sufrido un incremento del 7,5% entre 1999 y 2007 (INE, 2009).

La importancia económica de las especies ornamentales es muy elevada. Las cifras de exportación de planta t flor en los últimos años rondan los 218 millones de euros anuales (ICEX, 2009).

Figura 2.1. Evolución de la superficie española de plantas ornamentales.
(Datos en hectáreas)



Fuente: MAGRAMA., 2010



Fuente: MAGRAMA., 2010

2.2 Phylodendron

Phylodendron es un gran género de plantas con flores de la familia de Araceae, que consta de unas 900 especies. En comparación con otros géneros de la familia Araceae, los phylodendros tienen una variedad muy diversa de métodos de crecimiento. Los hábitos de crecimiento pueden ser epífitas, hemiepífitas, o raramente terrestre. Otros pueden mostrar una combinación de estos hábitos de crecimiento en función del entorno. Los phylodendros hemiepífitos se pueden clasificar en dos tipos: primaria y secundaria. En cuanto a los phylodendron de clase primaria, la planta crece como epífita. Una vez que se ha alcanzado un tamaño y edad suficiente, comenzará la producción de raíces aéreas que crecen hacia el suelo del bosque. Una vez que alcanzan el suelo del bosque, los nutrientes pueden ser obtenidos directamente de la tierra. De esta manera, la estrategia de la planta es obtener la luz a principios de su vida a expensas de los nutrientes.

En cuanto a los phylodendron hemiepífitos de clase segunda, comienzan la vida en la tierra o en parte de un tronco de árbol muy cerca del suelo, donde las semillas germinan. Estos phylodendron tienen sus raíces en la tierra temprano en sus vidas. Entonces comienzan una escalada de árboles y eventualmente pueden llegar a ser completamente aéreos, eliminando sus raíces subterráneas. No siempre comienzan su vida cerca de un árbol. Por esto, la planta crecerá con largos entrenudos por el suelo hasta que encuentra un

árbol. Después de que se ha encontrado un árbol, se detiene el comportamiento y el phylodendro cambia su hábito de crecimiento y los entrenudos se acortan y se espesa.

Las hojas suelen ser grandes e imponentes, a menudo lobuladas o cortes profundos, y pueden ser más o menos pinnadas. También pueden ser de forma ovalada, en forma de lanza, o en muchas otras posibles variaciones de forma. Las hojas están dispuestas alternamente en el tallo. Una cualidad interesante de phylodendros es que no tienen un solo tipo de hoja en la misma planta. Cuando los phylodendros están listos para reproducirse, se produce una inflorescencia que consiste en una campana de hoja como una espata dentro de la cual se adjunta una estructura en forma de tubo llamado un espádice. Dependiendo de la especie, puede ser producida una inflorescencia o un grupo de hasta 11 inflorescencias en una sola vez en cortos pedúnculos. La espata tiende a ser cerosa y por lo general es bicolor. En algunos phylodendros, el color de la base de la espata contrasta en color con la parte superior, y en otros, las superficies interior y exterior de la espata difieren en la coloración. El color más pálido tiende a ser de color blanco o verde, y el más oscuro por lo general de color rojo o carmesí.



2.3. Sistemas de cultivo sin suelo

Concepto de cultivo sin suelo

Cultivo sin suelo se define como cualquier sistema que no emplea el suelo para el desarrollo radicular de las plantas, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre un sustrato con adición de solución nutritiva, en un espacio delimitado y aislado, por lo tanto controlado. A efectos prácticos hay que diferenciar entre cultivo hidroponía propiamente dicha y cultivo en sustrato (Abad y Noguera, 1997). Los cultivos sin suelo pueden clasificarse:

- Cultivos hidropónicos:
 - Cultivo en medios exclusivamente líquidos (las plantas se sumergen en la solución nutritiva)
 - Cultivo en sustrato sólido inerte y poroso (las plantas están ancladas al sustrato).
- Cultivos en Sustrato. Son cultivos en sustrato sólido, inerte y poroso (las plantas están ancladas al sustrato),

Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno (O_2) y todos los nutrientes esenciales para las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente dissociada, aunque en solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los microelementos en forma de quelato.

Además de esta clasificación desde el punto de vista práctico, los cultivos sin suelo también pueden funcionar como sistemas abiertos, a solución perdida, no recirculante, o como sistemas cerrados, con recirculación de las soluciones nutritivas (Urresterazu. 2004).

Hay que destacar que el cultivo de plantas en sustrato permite un control riguroso del medio ambiente radicular, especialmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes (Jensen y Colins, 1985;

FAO, 1990). La solución nutritiva se aplica directamente a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.

Como inconveniente hay que destacar que requiera una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición.

Concepto de hidroponía

Etimológicamente, el término hidropónico viene del Griego “hidro”, que significa agua, y “ponos”, que significa trabajo, por lo cual vendría a significar trabajo en agua que para el caso podría asimilarse a alimentación de la planta a través de del agua (Maroto, 1990). El concepto hidropónico se utiliza actualmente a tres niveles distintos, y pueden definirse como:

- Cultivo hidropónico puro, sería aquel en el que mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla su sistema radicular en medio exclusivamente líquido, en el que van disueltos todos los elementos nutritivos que precisa la planta.
- Cultivo hidropónico, es utilizada para referirnos al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva.

Engloba a todo sistema de cultivo en el que las plantas completan su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando la nutrición hídrica y la totalidad o parte de la nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para su desarrollo. El concepto es equivalente al de “cultivos sin suelo”, y supone el conjunto de cultivo en sustrato más el cultivo en agua.

Según Resh (1992), el cultivo hidropónico o hidroponía se define como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo natural aunque usando un suelo inerte, tales como la grava, arena, perlita, vermiculita, serrín... a los que se le añade una solución de nutrientes que contiene todos los

elementos esenciales necesarios por la planta para su normal crecimiento y desarrollo.

2.4. Los sustratos en cultivo sin suelo

2.4.1. Consideraciones previas

Concepto de sustrato

Se aplica el concepto de sustrato a todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. Según sea el material del sustrato, (material químicamente activo o material inerte) puede intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta (Abad et al., 1996)

Los sustratos sólidos pueden dividirse en dos tipos (Urrestarazu, 2004):

- Materiales orgánicos, como turba, serrín o corteza de pino, que requieren la adición de fertilizantes sólidos, y algunas veces materiales limosos, antes de la plantación. Estos son sustratos en cultivos sin suelo pero no como hidropónicos.
- Sustratos inertes, como la arena, lana de roca y perlita, que actúan como anclaje de las raíces y un reservorio de la disolución nutritiva. Los fertilizantes sólidos no son empleados en estos materiales, y todos los nutrientes esenciales deben suministrarse en la disolución.

Propiedades de los sustratos sólidos

Los sustratos sólidos son baratos y fácilmente disponibles, reproducibles, con una estructura estable, bien aireados pero con una buena capacidad de retención de humedad, libre de patógenos, fitoxinas y malezas (Urrestarazu, 2004).

Características que debe cumplir un buen sustrato

Las propiedades básicas que deben cumplir un buen sustrato son (Jiménez y Caballero, 1990):

- Estabilidad física; es decir que en un tiempo razonable no pierda sus propiedades físicas.
- Densidad; debe ser un material ligero para su fácil transporte y con consistencia para que no vuelquen.
- Aireación; debe suponer como mínimo el 20% del volumen total del sustrato.
- Acidez; la mayoría de las plantas se desarrolla con un ph entre 5,5 y 6,5.
- Esterilidad; el sustrato debe estar libre de patógenos que pueden dañar a las plantas. No debe contener exceso de elementos nutritivos que pueden causar toxicidad.
- Capacidad de retención de nutrientes o capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.); los nutrientes se aportan con el agua, el sustrato debe tener la capacidad de retenerlos.
- Capacidad d retención de agua; sin poner en peligro la aireación del sustrato.
- Mojabilidad; si se seca rápido, debe ser capaz de volverse a mojar con facilidad.

2.4.2. Tipos de sustratos

La turba

Es el sustrato más utilizado y es el material base para cualquier sustrato, las turbas son restos vegetales en proceso de fosilización. Estas turbas se obtienen de turberas, donde los restos vegetales no completan el ciclo del carbono. (Strasbuguer et al, 1986; Lappalainen, 1996; Vasander, 1996).

Como característica hay que destacar una baja densidad aparente, una buena capacidad de intercambio catiónico, es bien aireado y generalmente se descompone lentamente. Como desventaja hay que resaltar la inmovilización del nitrógeno, y su subsecuente liberación, si la turba es reutilizada (Urrestarazu, 2000).

Fibra de coco

Es un sustrato de origen orgánico, procedente de una drupa de la especie *Cocos nucifera* L., consta de un gran envoltorio fibroso con diversos usos industriales y gran volumen de residuos (Abad et al., 1997). Aporta características similares a la turba con el inconveniente de la dificultad de hidratación de ésta (Urrestarazu, 2000).

2.5. Salinidad

Concepto de salinidad

La salinidad se refiere a la concentración de las sales solubles presentes en la solución del sustrato.

La salinidad es una variable importante en sí misma y debe ser controlada de acuerdo a la sensibilidad de un cultivo.

La salinidad en el suelo es generalmente expresada como la CE del extracto de saturación (CE_{es}) y en los cultivos sin suelo frecuentemente se usa la CE de la solución en el sustrato (considerada como la rizosfera) o la solución nutritiva.

Las aguas se clasifican en función de su salinidad, mediante la medida de su conductividad eléctrica (CE), de fácil determinación, y su relación con las sales totales de esta. A su vez, la conductividad está relacionada con la presión osmótica (PO) y la capacidad de absorción de agua por la raíz de la planta (Richards, 1954):

PO= 0,36 CE

PO = Presión osmótica en atmosferas

CE = Conductividad eléctrica en dS/m

Las causas que provocan un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar este en el contenedor, son (Urrestarazu, 2004):

- La presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se mineralizan para producir nitratos o bien, cuando liberan sales mediante difusión, en una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas.
- Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución nutritiva es superior a las cantidades absorbidas por la planta o las pérdidas por lixiviación.
- Cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico y se descompone liberando nutrientes.

Se dice que un suelo es salino cuando contiene un exceso de sales solubles que impiden o dificultan el desarrollo normal de los cultivos. Sales solubles son aquellas cuya solubilidad a 0° C es de 2,4 gramos por litro de agua. Las sales solubles presentes en el suelo están compuestas principalmente por cationes de sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) y los aniones cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (CO_3H^-) y carbonato (CO_3^{2-}).

Las sales solubles son más perjudiciales, debido a que forman disoluciones salinas muy concentradas, mientras que las poco solubles precipitan antes de alcanzar un límite peligroso.

Los efectos negativos sobre las plantas que provocan la salinidad en el suelo son:

- Dificultad para absorber el agua del suelo.
- Toxicidad; que puede provocar la muerte vegetal.

El efecto más perjudicial de la salinidad en el suelo se debe, sobre todo, a la fijación de Na^+ . La sal más frecuente en los suelos es el cloruro de sódico (NaCl), aunque también pueden contener otras sales como sulfato sódico (Na_2CO_3) (Barceló, 2001).

Las respuestas de las plantas a la salinidad dependen de la edad de éstas, de las condiciones ambientales, de las prácticas de manejo de cultivo y de la características de la especie (Urrestarazu, 2004).

2.6. Tolerancia de las plantas a la salinidad

Introducción

En los cultivos agrícolas y ornamentales la salinidad representa un factor limitante para los cultivos. Actualmente el 20% de la superficie cultivada y la mitad de las zonas de regadío son afectados por la salinidad (Kafafi, 1984).

El incremento de la salinidad del suelo o el empleo de aguas de riego con una alta concentración de sales, genera cambios en las condiciones del medio que reducen o cambian desfavorablemente el crecimiento o desarrollo de las plantas (Levvitt, 1980).

La salinidad impone un estrés iónico, osmótico y oxidativo a las plantas cultivadas (Xiong y Zhu, 2002). Las plantas de acuerdo a su capacidad de crecer en un medio salino, se clasifican en:

- Halófilas; son aquellas tolerantes a altas concentraciones de NaCl .
- Glicófilas; incluyen a la mayoría de plantas cultivadas.

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La concentración de sales le ocasiona un desbalance iónico y un estrés osmótico.

Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial y la distribución de iones. La respuesta adaptativa, para lograr la salinidad, debe interconectar tres aspectos en la actividad de la planta (Zhu, 2001):

- Prevenir o reparar el daño
- Controlar la homeostasis tanto iónica como osmótica, que deben ser re-establecidas frente a las condiciones de estrés
- Control de crecimiento, que debe reanudarse pero con una tasa reducida.

Los efectos de la salinidad sobre los cultivos sin suelo deben distinguirse (Hayward y Long, 1940):

- Los efectos osmóticos; se determinan por la presión osmótica de la disolución.
- Los efectos específicos; pueden establecerse dos grupos:
 - Efectos a través de la nutrición mineral: el crecimiento de los cultivos se ve afectado por desórdenes en la absorción o distribución de los iones esenciales para el desarrollo de la planta.
 - Efectos por toxicidad: tiene lugar por exceso de absorción de un osmóticamente activo.

Existen claras dificultades para distinguir entre efecto osmótico y el efecto de la salinidad específica de un ion. Lo habitual es encontrarse un efecto combinado de ambos. En tal caso, una disminución de la absorción de un nutriente es a menudo acompañada del incremento en la absorción de ion envuelto en la salinidad (Bernstein, 1964).

En la mayoría de cultivos predomina el efecto osmótico de la salinidad (Bernstein, 1976.). El efecto más conocido es el marchitamiento del cultivo cuando se incrementa rápidamente la salinidad debido a la pérdida del gradiente del potencial osmótico del agua absorbida por las plantas aunque no

es éste el efecto más común, ya que en la práctica las plantas tienen gran capacidad de adaptación a ello (Bernstein, 1961; Bernstein 1963; Van den Ende et al ., 1975; Nukaya, 1983). Estas adaptaciones son muy diversas, aunque Bernstein (1976) sugirió que probablemente este ajuste sea el responsable de la reducción del crecimiento.

Homeostasis

El estrés salino rompe la homeostasis iónica de las plantas al provocar un exceso tóxico de sodio (Na^+) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio (K^+). El sodio inhibe muchas enzimas, por eso es importante prevenir la entrada de este al citoplasma (Zhu, 2001). Las plantas emplean varias estrategias para combatir el estrés iónico que impone la salinidad (Xiong y Zhu, 2002).

La compartimentalización del sodio es una respuesta económica para la prevención de la toxicidad de este en el citosol, ya que puede ser usado como osmolito en la vacuola para ayudar a conseguir la homeostasis iónica. Las plantas tolerantes a la salinidad (halófitas) cuentan con esta estrategia.

Contenido de sales de la disolución de nutrición

Se define como la concentración total de sales solubles presentes en la disolución del medio de cultivo. Para ajustar el suministro de nutrientes en relación a la demanda en sistemas hidropónicos se mide la concentración total de iones de la disolución expresada como conductividad eléctrica (CE).

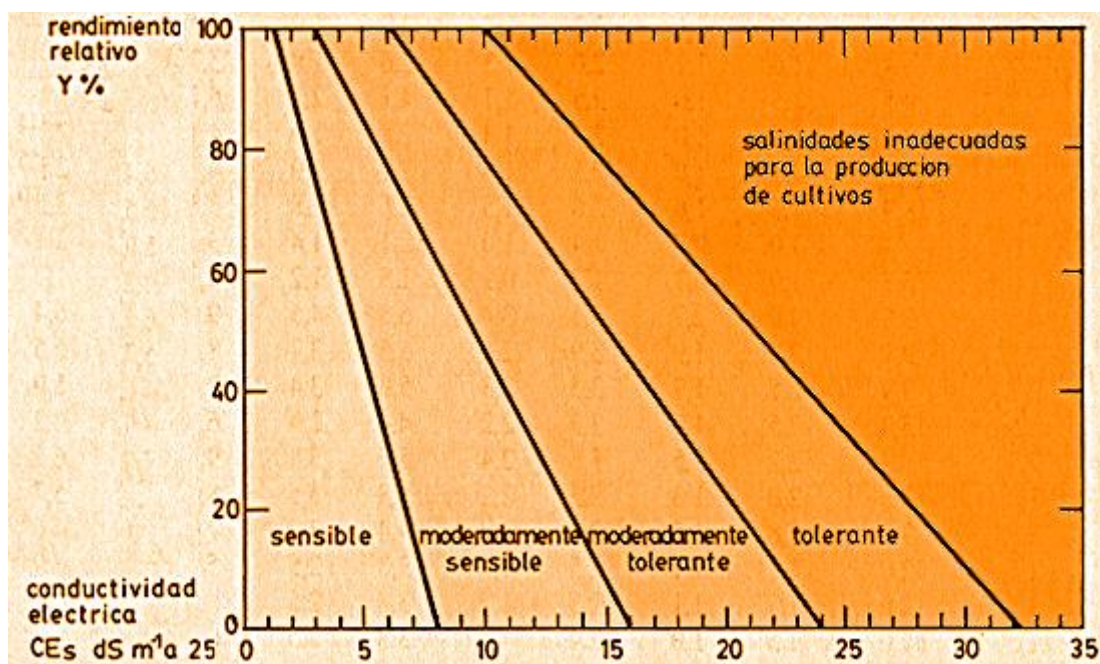
Se puede producir un incremento de la CE, en un contenedor, cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego es superior a las cantidades absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación.

El incremento de la salinidad del sustrato, si se presenta, puede ser prevenido o corregido, mediante lixiviación controlada. El volumen de agua de drenaje ha

de ser controlado para evitar un excesivo lavado de las sales. Este volumen de agua aportado está en función del estado vegetativo del cultivo, de la época del año y de la calidad del agua aportada, con el fin de asegurar los objetivos perseguidos en el cultivo.

El efecto negativo sobre la producción de una elevada CE tanto en el sustrato, como en la propia agua de riego es bien conocido. Este efecto ha sido tabulado por investigaciones como Ayers y Westot (1976) o Carter (1981) (figura 2.8).

Figura 2.8. Relación de las pérdidas de rendimiento relativo de los cultivos en función de su tolerancia a la salinidad (Moreno, 1996).



Fuente: De Maas y Hoffman, 1997.

2.7. Nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo

El comportamiento de los cultivos frente a la salinidad es muy similar, tanto en cultivos sobre sustratos como en cultivos en suelo. Básicamente la diferencia radica en la diferencia del volumen de enraizamiento, siendo mayor en los cultivos sobre suelo.

Es por esta causa, que a menor volumen de enraizamiento de los cultivos sobre sustratos, las raíces acumulan menor cantidad de sal, siendo así más flexibles frente a la salinidad y con una mayor rapidez de respuesta frente a los daños causados por ésta.

Acumulación de sales en la rizosfera

Es una acumulación que depende de varios factores, entre los cuales sobresalen los siguientes:

- La composición iónica del agua de riego.
- Las características propias de los cultivos.
- El valor de los diferentes iones en la solución del suelo.
- Las condiciones climáticas.

La acumulación excesiva de sales reduce el rendimiento del cultivo. Evitar esta consecuencia de la salinidad sólo es posible si las concentraciones de los iones en el agua primaria están por debajo de su nivel de absorción, y mediante un control de la adición de nutrientes. Así pues, los cultivos y el agua de riego solo aceptan una cierta acumulación de sales, especialmente para iones como Na, Cl y SO_4 , abundantes en ciertas clases de agua de riego.

Niveles de salinidad requeridos y aceptables

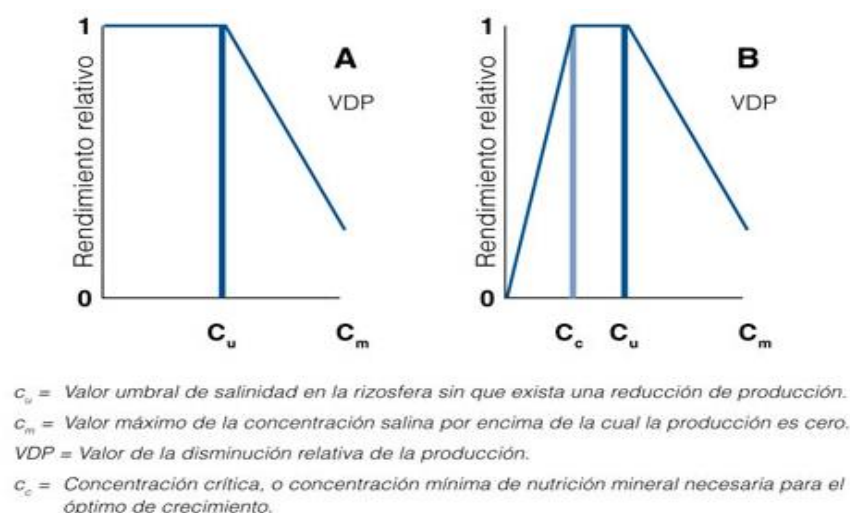
Los valores de CE superiores a los requeridos para absorber nutrientes suelen producirse no sólo debido al suministro extra de nutrientes sino también por la acumulación de sales residuales.

Cuando los valores de CE son mayores a los óptimos disminuyen tanto el crecimiento como el rendimiento de los cultivos. La reducción del rendimiento se expresa en porcentajes sobre el rendimiento máximo y es diferente para todos los cultivos.

Para determinar los niveles requeridos y aceptables de la salinidad en un cultivo, nos basamos en el modelo de Maas y Hoffman (1977), que relaciona la CE de la rizosfera y el valor de la disminución relativa de la producción (VDP) (Figura 2.9.A.).

Para los cultivos protegidos de la CE relacionada con los nutrientes minerales en el modelo de Mass y Hoffman necesita redefinirse, a que estos aplican una CE de partida de cero y en la práctica este caso no se da. El reajuste necesario es definido por Sonneveld (1991) (Figura 2.9.B.).

Figura 2.9. Relación entre el valor de la CE en la rizosfera y la producción.



Fuente: Mass y Hoffman, 1977,(A); y Sonneveld, 1991, (B).

Fertilización en relación a la salinidad

En nutrición hay que prestar especial atención a la calidad del agua usada para la fertilización del cultivo, sobre todo si esta es de origen salino.

Cuando el agua de riego contiene un elevado contenido en sales, existe una gran diferencia en canto a los valores de la CE del fertirriego y del drenaje,

siendo habitual mayor la CE del drenaje. En este caso es necesario un reajuste del aporte de nutrientes e incluso un lavado del sustrato.

Requisitos de lixiviación y producción sostenible

Conocer la demanda de los cultivos es importante para determinar el aporte necesario de minerales y los valores aceptables e la CE del riego. La producción sostenible es factible sólo cuando se emplee agua de riego de la máxima calidad, en combinación con sistemas en los que el agua de drenaje se pueda reutilizar.

Las siguientes combinaciones deberían ser consideradas en todo sistema de producción sostenible:

- Emplear el agua de riego, con una concentración salina por debajo de la correspondiente a la absorción del cultivo, en la denominada concentración de absorción, en un sistema en el cual el agua de drenaje se reutilice. Es una práctica que evita la filtración de minerales al medioambiente.
- Desalinizar el agua de riego a concentraciones de sal por debajo de la correspondiente a la absorción del cultivo.
- Restringir el uso del agua en los cultivos.
- Usar agua de salinidad leve o una acumulación restringida de sal, ocasiona cierta reducción del rendimiento. Esta se refiere al rendimiento total.

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y METODOS

3.1 Descripción del sistema de invernadero

Localización y tipo de invernadero

Las instalaciones donde se realizó este trabajo monográfico están situadas en el término municipal de Almería.

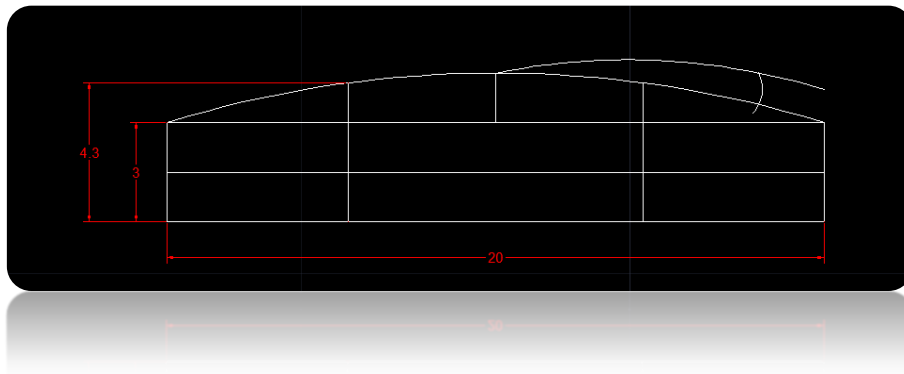
Se trata de un invernadero que se encuentra ubicado en la Universidad de Almería, en la Cañada de San Urbano, en 2°23' de longitud, 36°49' de latitud y 1 m de altitud.

Se trata de una estructura semicilíndrica de 25 m de largo por 6,24 m de ancho, cuya altura del canal es de 3 m y 4,36 m de cenit. La cubierta es de tipo policarbonato de 4 mm de espesor y la estructura y soportes son de tubos de hierro galvanizado (Figura 3.1)

Posee ventilación cenital mediante la elevación de placas de policarbonato, que se realiza por medio de cremalleras de modo manual o por motor reductor, que a su vez puede estar comandado manual o automáticamente, consiguiendo una apertura del 40 al 50 %.

Un dispositivo eléctrico regula la apertura de las placas en función de la temperatura preestablecida (y modificable) de 25° C, y un anemómetro situado en la parte superior de la cubierta impedirá la apertura de las placas cuando los vientos en la zona adquieran velocidades importantes, con limitación de 20 km h⁻¹ si son de levante y 50 km h⁻¹ si son procedentes de cualquier otra dirección. En el caso de activarse, el sensor anemómetro anula la acción del sensor de temperatura del interior de invernadero.

Figura 3.1. Descripción del invernadero.



3.2. Descripción de la unidad de cultivo

3.2.1. Contenedores de cultivo

Los contenedores que se usaron para realizar el ensayo, son macetas denominadas termoformadas (material blando) de color terracota de 500 cc de volumen, de 10 cm de diámetro y 9 cm de alto.

Figura 3.2. Detalle del contenedor:



Los contenedores de procedencia del semillero fueron bandejas de material blando de color negro (pvc) de 0,3 m de ancho por 0,5 m de largo con 59 alveolos de capacidad (Figura 3.3).

Figura 3.3. Detalle de las bandejas.



3.2.2. Distribución del ensayo

La unidad de cultivo está compuesta por cuatro repeticiones; cada repetición está formada por 9 macetas, distribuidas en un sistema de bloques al azar. Se han realizado tres tratamientos a distinto caudal (2 L h^{-1} , 3 L h^{-1} y 4 L h^{-1}) en la especie conocida como *philodendron rubescens*.

El tratamiento está constituido por 144 macetas, distribuidas longitudinalmente en orientación de este a oeste. (Figura 3.4).

Figura 3.4. Vista general del ensayo de campo.



3.2.3. Sustrato

El sustrato utilizado para el ensayo es una mezcla de turba rubia y fibra de coco en una proporción de 2:1.

Turba rubia

La turba es el sustrato inorgánico con más éxito y ampliamente utilizado.

Las turbas son restos vegetales en procesos de fosilización, que se obtienen de turberas que se forman mediante destrucción del material vegetal por parte de los organismos. Este material natural está formado por depósitos de restos de musgos y de otras plantas superiores, que se hallan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, por lo que conservan largo tiempo su estructura anatómica (Strasburguer et al., 1986).

La turba rubia más utilizada es la Turba de Sphagnum. Posee un color claro característico y casi no posee ácidos húmicos en su composición, por lo que no forman agregados.

La turba ligeramente descompuesta o turba rubia, de color pardo-claro. Corresponde al estrato más superficial y es la formada más recientemente. Es ampliamente utilizada como sustrato agrícola, y que está poco descompuesta (conservando parcialmente la estructura de los musgos y plantas que la integran), y posee excelentes propiedades físicas y químicas: estructura mullida, porosidad total elevada, alta capacidad de retención de agua, aceptable contenido de aire, baja densidad aparente, elevada capacidad de intercambio catiónico y baja salinidad (Urrestarazu, 2004).

La turba tiene una baja densidad aparente, una buena capacidad de intercambio catiónico, es bien aireado y se descompone lentamente. Si está

demasiado fresca, hay que destacar la inmovilización el nitrógeno como inconveniente (Urrestarazu 2004).

Las propiedades físico químicas de la turba rubia se describen en la tabla 3.1. del presente trabajo monográfico.

Tabla 3.1 Propiedades físicas de la turba. Influencia de la composición botánica y el grado de descomposición.

Propiedad	TURBA <i>Spagnum</i> rubia
Índice de grosor (%)	46,00
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,07
Espacio poroso total (% vol.)	96,00
Capacidad de aireación (% vol.)	41,00
Agua fácilmente disponible (% vol.)	25,00
Agua de reserva (% vol.)	6,00
Agua total disponible (% vol.)	31,00
Agua difícilmente disponible (% vol.)	24,00
Capacidad de retención de agua (ml L ⁻¹)	687,00
Mojabilidad (min.)	17,00
Contracción (% vol.)	22,00

Fuente: Abad et al. (1996)

Tabla 3.2 Propiedades químicas, físico-químicas de la turba. Influencia de la composición botánica y el grado de descomposición.

P (pasta saturada)	3,9
Conductividad eléctrica (extracto de saturación; dS m ⁻¹)	0,4
Capacidad de intercambio catiónico (me 100 g ⁻¹)	99,0
Materia orgánica total (%)	98,0
Cenizas (%)	2,0
Nutrientes asimilables (extracto de saturación; ppm)	
N-NO ₃ ⁻	4,0
P	0,5
K ⁺	17,0
CA ²⁺	16,0
Mg ²⁺	9,0

Fuente: Abad et al., 1996.

Fibra de coco:

La fibra de coco procede de una drupa de la especie *Cocos nucifera* L. consta de un mesocarpo que usa industrialmente para extraer fibras, que generan una gran cantidad de polvo y residuos. Este polvo es usado como sustrato en el cultivo de ornamentales (Abad et al, 1997, de Grimwood et al, 1977).

La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93 % (vol.). Tiene una aceptable capacidad de retención de agua y la relación aire-agua están lineal y estrechamente relacionadas con el tamaño de sus partículas. La relación C/N es superior a la de la turba *Sphagnum* y los niveles de asimilación de nutrientes son bajos,

excepto para el fósforo y el potasio. Como inconveniente hay que destacar la lentitud en cuanto a su hidratación (Urrestarazu, 2004).

La procedencia de la fibra de coco utilizada en horticultura es muy diversa, en la tabla 3.2., se describen las propiedades físicas, físico-químicas y químicas de varias muestras.

Tabla 3.2. Intervalo de variación y valor mediano de las propiedades físicas, físico-químicas y químicas de trece muestras de fibra de coco con orígenes diferentes.

Propiedad	Intervalo	Fibra de coco Mediana
Índice de grosor (%)	11-66	34,0
Densidad aparente (g cm ⁻³)	0,020-0,094	0,059
Espacio poroso total (% vol.)	93,8-98,7	96,1
Capacidad de aireación (% vol.)	22,2-90,5	44,9
Agua fácilmente disponible (% vol.)	0,7-36,8	19,9
Agua de reserva (% vol.)	0,1-7,8	3,5
Capacidad de retención de agua (ml L ⁻¹)	110-797	523
Contracción (% vol.)	n,d,x-28	14
pH (pasta saturada)	4,76-6,25	5,71
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	0,39-6,77	3,52
Capacidad de intercambio catiónico (me 100 g ⁻¹)	31-97	61
Materia orgánica total (%)	88,6-95,7	93,8
Materia orgánica total (%)	74-194	132
Elementos asimilables; extracto de saturación; ppm		
N-NO ₃ ⁻	n,d,-1,7	0,21
N-NH ₄ ⁺	n,d,-1,8	0,14
P	7,4-104	41,0
K ⁺	115-2343	95,0
CA ²⁺	6,9-114	26,0
Mg ²⁺	2,6-59	20,0
Cl ⁻	27-2242	1085,0
SO ₄ ²⁻	2,5-314	23,0
Na ⁺	25-294	137,0

x No detectable.

Y: % en peso de partículas con Ø > 1 mm

Fuente: Abad et al., 1997.

3.3. Fertirriego

Mediante el sistema de fertirriego aportamos al sustrato todos aquellos elementos nutritivos necesarios que la planta necesita para realizar sus funciones y optimizar el rendimiento de los mismos.

El sistema de cultivo sin suelo empleado es el de drenaje libre o solución perdida. En éste, el drenaje sobrante en cada riego no se recupera y se pierde por percolación en el suelo excepto aquellos contenedores que cuentan con vaso de recogida de drenaje.

El aporte de riego en este ensayo se ha realizado de forma automática mediante un sistema de riego por goteo que regaba todas las mañanas a las 9 de la mañana durante dos minutos.

3.3.1. Riego

Para determinar el volumen de riego necesario se ha tomado una maceta testigo de cada tratamiento.

Llenamos la maceta testigo de sustrato y trasplantamos de una planta determinada; pesamos antes de regar, lo que supone un peso de 125 g aproximadamente. Al regar el peso de la maceta aumenta hasta 300 g aproximadamente.

Nuestro criterio de riego lo hemos establecido cuando la maceta pesa entre 120-180 g, lo que supone entre un 40-60 % de saturación.

Frecuencia de riego

Por frecuencia de riego se entiende el número de riegos que se dan por unidad de tiempo.

En la práctica se ha regado una vez por día durante dos minutos para los distintos caudales que tenemos (2 L h^{-1} , 3 L h^{-1} y 4 L h^{-1}).

Drenaje

Para la recogida de drenajes y posterior evaluación de los parámetros de fertirriego, situamos un vaso medidor de volumen tabulado debajo de la maceta testigo y recogemos este volumen para su posterior medida de CE y pH.

Tanques de riego

Se han preparado cuatro tanques de riego a partir del agua de riego inicial. Cada tanque corresponde a un tratamiento distinto.

Cada tanque se ha llenado con la solución nutritiva estándar, añadiéndole una cantidad determinada de cloruro sódico (NaCl) hasta completar la conductividad eléctrica deseada (CE) para el riego de cada tratamiento.

3.3.2. Sistema de fertirriego

A continuación se realizará una breve descripción de los elementos principales de la instalación de riego.

Tanques de fertilizantes

El sistema de fertirriego consta de 4 tanques de pvc abiertos con tapadera, con una capacidad de 220 litros.

La aplicación de agua desde los tanques hasta las macetas se hace de una manera manual midiendo el agua aportada a cada maceta mediante un vaso tabulado.

3.4. Características del agua de riego utilizada y disolución nutritiva

3.4.1. Agua de riego

Al inicio de un cultivo es fundamental conocer la composición química del agua que vamos a utilizar para el riego, dado que el agua puede ser uno de los principales factores limitantes de determinados cultivos hortícolas.

Las características que se deben analizar del agua de riego a utilizar son las siguientes:

- Conductividad eléctrica (CE): tiene relación directa con la cantidad total de sales que existen disueltas en el agua. A mayor concentración de sales mayor CE; se expresa en las unidades de mS cm^{-1} ó dS m^{-1} .
- pH: su valor altera la absorción vegetal por su influencia sobre el estado de asimilación del nutriente o la cantidad disponible del mismo. Se considera un rango óptimo para el funcionamiento de las plantas: 6-6,5. Mediante la adición de ácidos se consigue reducir el pH de las aguas de riego, en este caso se utilizó el ácido nítrico.
- Iones: expresa la concentración de los aniones y cationes existentes en el agua, la cual hay que tener en cuenta para el posterior cálculo de la solución nutritiva óptima para el cultivo.

El agua utilizada en el ensayo es un agua de buena calidad, siendo su composición química la que se encuentra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Análisis fisicoquímico y químico del agua de riego aplicada en la evaluación agronómica.

	dS m ⁻¹	Mmol L ⁻¹					
pH	CE	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
7,39	0,70	3,64	0,62	1,35	5,69	3,10	1,15

Fuente: Universidad de Almería

3.4.2. Disolución nutritiva

Las disoluciones nutritivas tipo son infinitas y no se pueden estandarizar ya que dependen de la variabilidad de los factores de producción.

La elección de una u otra viene condicionada por la variedad cultivada, estadio fenológico de desarrollo, condiciones climatológicas del momento, calidad del agua de riego, etc.

Las concentraciones de los diferentes iones en las soluciones nutritivas se expresan normalmente en mmol L⁻¹ ó meq L⁻¹ y los microelementos en ppm.

Tabla 3.4. Solución nutritiva empleada en el cultivo de nuestro experimento durante la evaluación agronómica de la aplicación de mojante.

	dS m ⁻¹	Mmol L ⁻¹						
pH	CE	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ H ²⁻
5,80	1,60	1,00	6,50	2,25	0,75	9,50	1,25	1,50

Fuente: Urrestarazu, 2004.

3.4.3. Tratamiento del ensayo

Los tratamientos que se han realizado en este ensayo son tres:

T_D: Solución nutritiva estándar a CE = 3,60 dS m⁻¹ con gotero de 2 L h⁻¹.

T_O: Solución nutritiva estándar a CE = 3,60 dS m⁻¹ con gotero de 3 L h⁻¹.

T_E: Solución nutritiva estándar a CE = 3,60 dS m⁻¹ con gotero de 4 L h⁻¹.

3.5. Especie estudiada. Género *Philodendron*

Género de hasta 500 especies que incluye muchas plantas domésticas bien conocidas, así como arbustos y pequeños árboles. Oriundos de América tropical y las Antillas, son principalmente plantas rastreras y enredaderas epífitas y perennifolias con raíces aéreas, algunas delicadas pero otras bastante robustas. Se conocen por su exuberante follaje, a menudo de contorno dramático o lóbulos profundos, en general de un color verde pero en ocasiones bellamente marcados de blanco, rosa o rojo. Las flores, apétalas, son discretas. Todas la partes de la planta son venenosas.

CULTIVO

Todas las especies necesitan humedad abundante y un clima tropical o subtropical para su cultivo de exteriores. Necesitan un lugar abrigado y umbroso con suelo rico en humos y bien drenado. Las plantas domesticas deben regarse y abonarse con regularidad y hay que reducir el riego en los meses más frescos. Se multiplican por esquejes tomados en primavera o por semillas.

***Philodendron erubescens* K. Kovh & Austin Cv. royal queen. Philodendron de hoja rota**

Especie trepadora de Colombia con tallos y brotes nuevos rojo purpúreo. Sus hojas miden más de 38 cm de largo, son alargadas y entre acorazonadas y sagitadas, con haz verde oscuro brillante y envés purpureo. Se la suele tratar como planta doméstica o de invernadero, cultivada en macera y guiada a trepar por un armazón. Tiene hojas de 30 cm, sonrojadas con nervios rojos y tallo rojo purpúreo oscuro.

3.6. Manejo del cultivo

Tomamos un número de plántulas y tomamos unos datos de referencia y realizamos medidas de diámetro, peso fresco y peso seco de las raíces, de las hojas y frondes y del tallo. Para ello, se lavan bien las plántulas, incluyendo las raíces con el gin de que no queden restos de turba procedente del contenedor.

Las plantas utilizadas provienen de un cultivo in vitro, sembradas en bandejas de 150 alveolos. El sustrato utilizado para el llenado de bandejas es el mismo que el utilizado para el experimento (turba rubia: fibra de coco; vol. : vol.). El sistema radicular bien envuelto en una fina tela.

Trasplante

El trasplante se hace en contenedores de 500 ml de volumen. Se trasplantan 9 macetas para cada repetición. Con 4 repeticiones serian un total de 36 macetas.

Las plantas utilizadas para el trasplante provienen de un cultivo in vitro, sembradas en bandejas de 150 alveolos. El sustrato utilizado para el llenado de bandejas es el mismo que el utilizado para el experimento (turba rubia: fibra de coco; 2:1). El sistema radicular bien envuelto en una fina tela

3.7. Seguimiento del cultivo

Durante la ejecución del ensayo se ha hecho un seguimiento visual semanal, con una periodicidad de dos veces por semana, durante todo el periodo de cultivo, que ha sido desde su trasplante el 2 de noviembre de 2012 hasta la extracción total de las plantas del contenedor el día 4 de febrero de 2013.

Durante este seguimiento se ha evaluado:

- Necesidades de riego, como se describe en el apartado 3.3. fertirriego.
- Tasa de mortandad: siendo esta despreciable en todos su casos
- Presencia de plagas

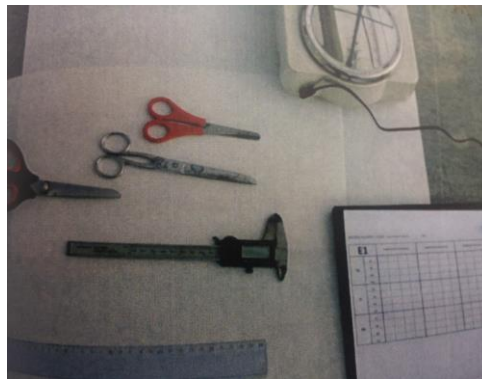
A partir del trasplante se comenzó a medir el volumen, la conductividad eléctrica y el pH de los drenajes de las plantas.

A las a las 8 semanas se procede a la extracción del contenedor del cultivo.

En primer lugar se lavan las raíces de estas para eliminar la mayor porción posible de sustrato, que podrían desencadenar posibles incoherencias en la toma de su peso o cualquier otra medida.

A continuación se cortan las raíces y la fronde para separarlas, y se procede al pesado de cada parte en una báscula de precisión de 0-500 g, con una milésima de gramo de precisión (0,001 g); medimos la longitud de las raíces y la fronda, con una regla de 30 cm y 1 mm de precisión; medimos también el grosor de la fronda con su escalímetro de 0,1 mm de precisión (Figura 3.12.)

Figura 3.12. Detalle de pesado y medida.



A continuación hacemos bloques para cada uno de los caudales (ver apartado **diseño experimental**), usando papel secante para su transporte e identificación, manteniendo el etiquetado correspondiente a la posición del cultivo, con un total de tres bloques correspondientes a los tres caudales distintos.

Tras la toma de muestras se pasan a una estufa a peso seco constante a 85 °C, haciendo una evaluación del mismo durante el tiempo de secado (30 horas), mediante el pesado de éstos. Al retirarlos de la estufa se vuelven a hacer las medidas de peso seco para cada bloque tanto de raíz como de fronde.

Figura 3.13. Estufa usada para el secado del material vegetal.



Los datos recogidos de esta toma de muestras vienen expresadas en gramos (g) en el caso del peso y en milímetro (mm) en el caso de la longitud de raíz y de fronda.

3.8. Fertirriego

Parámetros de fertirriego

Los análisis realizados con respecto al fertirriego consistieron en las mediciones, tanto en la disolución nutritiva aportada como en la drenada por la maceta testigo para los distintos tratamientos.

Medidas en el fertirriego

Se midió la CE y el pH diariamente, para comprobar la no alteración de las soluciones de los tratamientos antes de ser usado, y el volumen aportado a la maceta testigo. En los aportes de fertirriego se mide:

- Volumen del fertirriego al cultivo ($\text{mL planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$), tomando directamente desde el punto de control.
- pH del fertirriego.
- CE del fertirriego.

Medidas en el drenaje

Se pusieron tres vasos de control de drenaje, correspondiente a cada caudal. Se realizó el seguimiento del drenaje de la planta, para poder medir los siguientes factores relacionados con la fertirrigación:

- Volumen de la disolución drenada. Porcentaje de drenaje.
- Ph de la disolución drenada.
- CE de la disolución drenada.

El pH y el CE, se midieron con los respectivos pH-metro y conductivímetro de campo, usando un conductivímetro de la marca CRISON modelo 525, con célula de conductividad de PVC grafito⁻¹, marca CRISON modelo 52-92, con constante de célula aproximada de 1 cm⁻¹ expresando los resultados en el sistema internacional dS m⁻¹; y el pH se mide usando un pH - metro marca CRISON modelo PH25.

3.9. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental se dispone según un diseño de bloques completos al azar (Little y Hills, 1976). En el cultivo existen 4 repeticiones compuesta cada una de 9 plantas, 3 para cada uno de los goteros.

El análisis estadístico se realizará con un programa informático aplicando el método de Turkey-.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Volumen aportado en el fertirriego

El volumen de fertirriego suministrado ha sido aportado por la consigna de uso deseada, que supone un 40-60% de saturación del sustrato.

El volumen de fertirriego aportado ha sido el mismo para todos los tratamientos, siendo un tiempo de dos minutos para cada uno de ellos.

Tabla 4.1. Volumen de fertirriego suministrado

T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

	ml maceta ⁻¹ día ⁻¹	ml totales en el ciclo (23 Nov-15 Ene)
TD	95,30	5050,9
TO	155,19	8225,0
TE	207,40	10992,2

4.2. Parámetros de fertirriego de la solución nutritiva drenada y aportada.

El pH del sustrato o de la solución nutritiva afecta a la disponibilidad de nutrientes, a veces de forma considerable así pes es preciso el control del pH en la zona radical, para optimizar la nutrición.

El óptimo de crecimiento de algunas plántulas ocurre con valores de pH entre 5,5 y 6,5 de la disolución de cultivo (Arnon y Johnson, 1942).

Tabla 4.2. pH del drenaje y del fertirriego.

	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	5ª Semana	Media del ciclo
Riego	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
T _D	5,60	5,32	5,57	5,00	4,90	5,27
T _O	5,95	5,36	5,59	5,19	5,00	5,41
T _E	5,42	5,38	5,60	5,02	4,70	5,22

TD, TO, TE son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente

Análisis del pH durante el ciclo

Existe una diferencia significativa en cuanto a lo largo de las semanas para los tratamientos.

Tal y como se representa en la tabla 4.2 existe una disminución del pH del drenaje desde la primera semana del cultivo hasta la quinta semana para los distintos tratamientos T_D, T_O Y T_E.

4.3. Conductividad eléctrica del drenaje

La conductividad eléctrica (CE) de la disolución nutritiva es una medida de la concentración total de sales disueltas y es a menudo referida como la salinidad, cuyos datos de la medida del drenaje de nuestro ensayo son representados en la tabla 4.3 conductividad eléctrica del drenaje. Aunque es fácil de medir, la CE no entrega información acerca de las concentraciones de los nutrientes presentes en forma individual. Aun así se utiliza para seguir el estado de los nutrientes totales de los suelos, sustratos y disoluciones.

Una baja CE indica un estado nutricional bajo, e indica que se debe aportar más cantidad de la disolución aportada. Por el contrario, una alta CE podría deberse a altos niveles de nutrientes, indicando que se requiere una disolución más diluida. En hidroponía, la salinidad alta puede deberse a la acumulación de

iones no utilizados provenientes del agua o sales fertilizantes empleadas, tales como sodio, cloruro o sulfato, requiriéndose un riguroso lavado del sistema (Urrestarazu, 2004).

En la tabla 4.3. Conductividad eléctrica del drenaje, se representan los datos de la medida obtenida de la CE del drenaje para los tratamientos de nuestro ensayo.

Tabla 4.3. Conductividad eléctrica del drenaje.

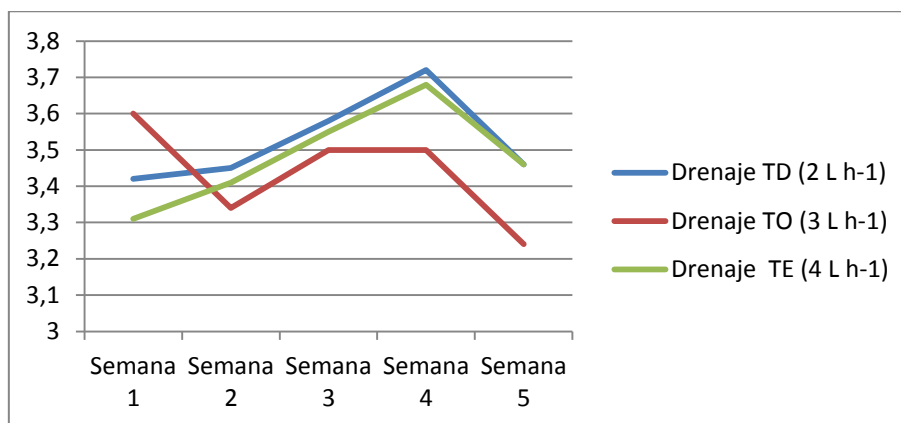
(dS m ⁻¹)	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	5ª Semana	Media ciclo
T _D	3,42	3,45	3,58	3,72	3,46	3,52
T _O	3,60	3,34	3,50	3,50	3,24	3,43
T _E	3,31	3,41	3,55	3,68	3,46	3,48

TD, TO, TE son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente

Como podemos observar en el análisis de la los datos (Tabla 4.3) existe una diferencia significativa en cuanto a la CE del drenaje tanto a lo largo del ciclo de cultivo, como en cuanto a los tratamientos.

En la figura 4.3. Evolución de la CE del drenaje, se representa gráficamente los datos obtenidos de la CE del drenaje durante las cinco semanas que duró nuestro experimento.

Figura 4.3. Evolución de la CE del drenaje.



Como podemos observar en la figura 4.3., la fluctuación de la CE para los tratamientos T_D y T_E siguen un mismo patrón mientras el T_O mantiene una evolución distinta al resto de los tratamientos, en la medida de la CE del drenaje.

Para T_D y T_E , durante las primeras semanas mantiene un crecimiento constante, para a continuación comenzar un descenso de los valores. Este descenso es inversamente proporcional al consumo de nutrientes de la planta. Esto nos indica una elevada actividad del cultivo. Esta actividad alta coincide con el tratamiento óptimo T_O .

4.4. Porcentaje de drenaje

En la tabla 4.4. Porcentaje (%) de volumen drenado, se representan los datos de la solución drenada tras efectuar el riego.

Tabla 4.4. Porcentaje (%) de volumen drenado.

	1ª Semana	2ª Semana	3ª Semana	4ª Semana	5ª Semana	Media del ciclo
T_D	95	98,5	94	98,3	93,20	95,80
T_O	75	97,2	97,89	88,15	90,91	89,83
T_E	94	94,34	86,86	98,22	85,85	91,85

T_D , T_O , T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

4.5. Parámetros vegetativos de la raíz

En las siguientes tablas podemos apreciar el estudio de comportamiento de la raíz durante la aplicación de los distintos tratamientos (T_D , T_O , T_E), mediante el análisis de la evolución del crecimiento de la longitud de la raíz, del peso fresco y del peso seco.

En la tabla 4.5.1., se resumen los datos recogidos de la media de la longitud de la raíz.

Tabla 4.5.1. Evolución de crecimiento de la longitud de la raíz en función de los tratamientos.

	Valores medios del ciclo completo
T _D	8,95 a
T _O	9,25 a
T _E	9,43 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (α : 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

En la tabla anterior no observamos diferencias significativas para la especie estudiada aplicando el criterio estadístico de Turkey.

Tabla 4.5.2. Evolución de crecimiento del peso en fresco en raíz en función de los distintos tratamientos.

	Valores medios del ciclo completo
T _D	10,92 b
T _O	12,75 ab
T _E	15,63 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (P : 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

Tras el análisis de los datos concluimos que existen diferencias significativas en cuanto al aumento de la masa de la raíz para la especie estudiada en sus diferentes tratamientos según el criterio estadístico de Turkey. Para el tratamiento T_E (4 L h⁻¹) la masa es mayor que con respecto a T_D (2 L h⁻¹) y a T_O (3 L h⁻¹).

En la tabla 4.5.3., se resume los datos recogidos de la medida del peso seco de la raíz.

Tabla 4.5.3. Evolución del crecimiento del peso en seco de la raíz en función de los distintos tratamientos

	Valores medios del ciclo completo
T _D	1,18 a
T _O	1,36 a
T _E	1,63 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (α : 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

Según el criterio estadístico de Turkey son estadísticamente iguales y no hay diferencia significativa

4.6. Parámetros vegetativos aéreos

En las siguientes tablas podemos apreciar el estudio de comportamiento de las hojas durante la aplicación de los distintos tratamientos (T_D, T_O, T_E), mediante el análisis de la evolución de la superficie foliar, del peso fresco y seco de hojas y tallos.

En la tabla 4.6.1. Se resumen los datos recogidos de la medida del peso fresco en hojas y tallos.

Tabla 4.6.1. Evolución de los pesos frescos en hojas y tallos en función a los distintos tratamientos

	Peso fresco en hojas	Peso fresco en tallos	Peso fresco aéreo
T _D	7,95 a	6,93 b	14,39 a
T _O	10,79 a	9,67 a	20,46 a
T _E	11,14 a	10,67 a	21,81 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (P: 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

Según el criterio estadístico de Turkey, existe diferencias significativas con respecto a los pesos frescos en tallos, siendo más elevado el peso fresco con el tratamiento de 4 h⁻¹(T_E).

En la tabla 4.6.2 se resumen los datos recogidos de la medida del peso seco en hojas tallos.

Tabla 4.6.2. Evolución de los pesos secos en hojas y tallos en función de los distintos tratamientos

	Peso seco en hojas	Peso seco en tallos	Peso seco aéreo
T _D	2,67 a	2,47 a	5,14 a
T _O	3,41 a	2,48 a	5,89 a
T _E	3,57 a	3,17 a	6,74 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (a: 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

No se aprecian diferencias significativas en los pesos secos de hojas y tallos.

En la tabla 4.6.3 se expone el área foliar resultante de cada uno de los distintos tratamientos.

Tabla 4.6.3. Evolución del área foliar de cada uno de los distintos parámetros.

	Área foliar en cm ²
T _D	175,01 b
T _O	303,52 a
T _E	335,52 a

Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales, (a: 0.05). T_D, T_O, T_E son los tratamientos obtenidos con fertirriego de 2, 3 y 4 L h⁻¹, respectivamente.

Como podemos apreciar hay una diferencia significativa en cuanto a superficie foliar cuando regamos con 2 L/h y cuando regamos con 4 L/h.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- El desarrollo radical no se ve afectado por el incremento de la dotación de de fertirriego.
- Una mayor dotación de fertirriego produce un aumento de la biomasa y superficie foliar y por tanto de su valor comercial
- Los valores del fertirriego, CE y pH de los drenajes, no se vieron significativamente influenciado al aumentar la dotación de riego

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

Abad, M., 1995. Sustratos para el cultivo sin suelo. En: El cultivo del tomate. Coord.: Nuez, F. Ed.: Mundi-Prensa. Madrid. 131-166.

Abad, M., 1991. Los sustratos hortícolas: características y manejo. En: Actas II Congreso Nacional de Fertirrigación. Almería. 1-15.

Abad, M.; Martínez, P. F.; Martínez, M. D.; Martínez, J., 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de horticultura*, 11: 141-154.

Abad, M.; Noguera, P., 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. En: Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Coord.: Cadahia, C. Ed: Mundi-Prensa. Madrid. 289-340

Abad, M.; Noguera, P., 2000. Los sustratos en cultivos sin suelo. En: Tratado de cultivo sin suelo. Coord.: Urrestarazu, M. Ed: Mundi-Prensa y Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. 113-237.

Abad, M.; Noguera, P.; Noguera, V.; Roig, A.; Cegarra, J.; Paredes, C. 1997. Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustrato de cultivo. *Actas de horticultura*, 9.465-488.

Abad, M.; Noguera, V., 1985. Las turbas. Material primario de los sustratos hortícolas. *Agricultura*, 638: 716-722.

Ayers, R. S.; Westcot, D. W., 1998. La calidad del agua en la agricultura. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Rev 29 I. Roma.

Bentley, M., 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Ed.: Mundi-Prensa. Madrid.

Bernstein, L., 1961. Osmotic adjustment of plant to saline media. I Steady state. *American journal of botanic*, 48. 909-918.

Bernstein, L., 1963, osmotic adjustment of plants of saline media. II Dynamic phase. *American journal of botanic*, 50. 360-370.

Bernstein, L., 1964. Effects of salinity in mineral composition and growth of plants. *Plant Anal. Fert. Problems*, IV. 25-45.

Bernstein, L., 1976. Physiological basis of salt tolerance in plants. Proc. Intern. Symp. Genetic Control Diversity in plants. Lahore, Pakistan, March, 1976. Ed.: Plenum Press. New York (US). 283-290.

Burés. S., 1997. Sustratos. Ed.: Agrotécnicas, S.L. Madrid.

Caballero, M.; Cid, M. C.; Dúaz, M.A.; Mansito, P., 1997. Cultivo sin suelo de rosas de invernadero para flor cortada. En: Fundamentos de aplicación al cultivo hidropónico. Coord.: Delfin, A. Ed.: Hidroponía, Universidad Agraria La Molina. Lima (Perú).

Cadahía, C., 2000. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ed.: Mundi-Prensa. Madrid.

Carter, D.L., 1981. Salinity and plant productivity. Coord.: Rubber, C. *Hanbook Series in Nutrition and Food*. Ed.: Priel Publishers.

De Krejff, C.; Van der Berg, Rh. J. M., 1990. Nutriente uptake, Production and quality of Rosa Hybrida in rockwool as affected by electrical conductivity of the nutrient solution. En: Plant Nutrition.physiology and application. Coord.: Van Beusichem, M.L. Ed.: Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (Holland).

F.I.A.P.A., 1993. Cultivo sin suelo. Ed.: Junta de Andalucía. Almería.

Follet, R. H.; Murphy, L.S.; Donahue, R. L., 1981. Fertilizaers and Soil Amendments PrenticeHall. Ed.: Englewood Cliffs. New Jersey (US).

Handreck, K.A.; Black, N. D., 1994. Growing Media for ornamental plants and turf. Ed.: University of New South Wales Press (Australia).

Hayward, H. E.; Long, E. M., 1940-1941. Anatomical and physiological response of tomato to varying concentrations of sodium chloride, sodium sulphate, and nutrient solutions. Bot-Gaz, 102. *Biology Plant Science*, 102. California (US). 437-462.

Izco, J.; Amigo J., 2001. Precisiones nomenclaturales sobre la vegetación nor-occidental ibérica (España y Portugal), II. Ed.: Lazaroa. Madrid.

Jensen, M. H.; Coliins, W. L., 1985. Hidroponic Vegetable production. Horticultura, 7. 483-558.

Jimenez, R.; Caballero, M., 1990. El cultivo industrial de plantas en maceta. Ed.: horticultura, S.L. Madrid.

Kafkafi, U., 1984. Plant nutrition under saline conditions. En.: Soil Salinity under Irrigation. Coord.: Shainberg, I. y Salhervet, J. Ed.: Processes and Management. Springer-Verlag (Berlin-Germany).

Lagerweff, J.V.; Eagle, H.E., 1962. Transpiration related to ion uptake by beans from saline substrates. *Soil Science*, 93: 420-430.

Lappalainen, E., 1996. Global Peat Resources. Ed.: International Peat Society. Jyskä (Finland).

AGRADECIMIENTOS

FEDER AGI2010-18391, del Ministerio de Innovación y Ciencias.

A mi familia y personas que intervinieron en el proyecto así como mi director,
Miguel Urrestarazu Gavilán.